

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

(A n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction).

**2 379 704**

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 78 03210**

(54) Procédé de récupération de la chaleur résiduelle quittant un cycle thermodynamique.

(51) Classification internationale (Int. Cl.<sup>2</sup>).      **F 02 G 5/02; F 01 K 27/00.**

(22) Date de dépôt .....      6 février 1978, à 15 h 4 mn.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée : *Demande de brevet déposée en République Fédérale d'Allemagne le 8 février 1977, n. P 27 05 145.2 au nom de la demanderesse.*

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande .....      B.O.P.I. — «Listes» n. 35 du 1-9-1978.

(71) Déposant : **DAIMLER-BENZ AKTIENGESELLSCHAFT**, résidant en République Fédérale  
d'Allemagne.

(72) Invention de :

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : **Cabinet Regimbeau, Corre, Paillet, Martin et Schrimpf.**

D

Vente des fascicules à l'IMPRIMERIE NATIONALE, 27, rue de la Convention — 75732 PARIS CEDEX 15

L'invention concerne un procédé destiné à la récupération au moins partielle de la chaleur résiduelle issue des cycles thermodynamiques.

On sait que l'utilisation de l'énergie issue des processus de combustion se fait avec un rendement très médiocre. Une fraction importante de l'énergie potentielle du carburant ou du combustible, se retrouve inutilisée dans les gaz résiduels, en fin d'échappement ou d'évacuation. On connaît certes des dispositifs et des procédés permettant de récupérer la chaleur résiduelle. Cependant, étant donné la nécessité de l'existence d'un certain rapport de température entre le fluide chauffant et le fluide chauffé, cette chaleur résiduelle n'était jusqu'à présent que partiellement utilisable. En particulier, il n'était pas possible, sur les moteurs à combustion interne des véhicules, d'installer un système de récupération d'énergie thermique permettant de satisfaire à la nécessité de maintenir le poids des véhicules à un niveau acceptable sans entraîner de dépenses supplémentaires.

L'objet de l'invention est d'indiquer des possibilités d'une meilleure récupération de chaleur résiduelle qui ne soient pas liées à des frais difficiles à prendre en charge.

Ce problème est résolu par le fait que lors de la combustion, est utilisée une partie au moins de l'hydrogène emmagasiné sous forme d'hydrure métallique dans un accumulateur en métal et libéré de cet accumulateur par un apport d'énergie thermique, par le fait que pour provoquer la libération de l'hydrogène, de la chaleur résiduelle issue de la combustion est amenée à l'hydrure métallique, et par le fait que l'accumulateur métallique libéré d'au moins la plus grande partie de son oxygène est utilisé comme accumulateur d'énergie thermique liée de façon latente, accumulateur dont est utilisée l'énergie libérée par apport d'hydrogène à l'hydrure métallique lors de la charge de l'accumulateur.

L'emploi d'hydrures métalliques ou d'alliages de métaux comme agents de production d'hydrogène sur les véhicules ou à poste fixe, est toujours lié à un apport thermique

à l'hydrure, apport nécessaire à la libération de l'hydrogène destiné à être utilisé comme agent moteur ou agent chauffant. Il faut donc choisir des hydrures dont l'énergie de libération d'hydrogène se situe toujours au-dessous de l'énergie de la chaleur résiduelle issue du cycle à combustion. On peut alors toujours obtenir qu'une portion où la totalité de l'énergie résiduelle soit emmagasinée comme chaleur latente dans le réseau cristallin. À l'inverse, lors de la mise en réserve d'hydrogène gazeux dans l'alliage (vide) avec une nouvelle formation d'hydrures, l'énergie de liaison hydrogène est à nouveau libérée et ceci en fonction des conditions de pression et de températures entre 80 et 400°C.

La chaleur peut être extraite de l'accumulateur d'hydrogène (en charge) sous forme d'air chaud, de vapeur d'eau chaude et utilisé sous cette forme à des fonctions de chauffage. Sur la base d'un choix approprié d'hydrures métalliques et de conditions de pression et de température correspondante, il est possible, en réglant de façon correcte les pressions de dissociation durant la décharge et/ou la charge de l'accumulateur, d'obtenir des températures de dissociation telles que les gaz d'échappement puissent être refroidie au-dessous de la température ambiante et leur énergie extraite dans une plus grande proportion qu'auparavant. Sur les moteurs à combustion interne où 1/3 environ de l'énergie chimique potentielle du carburant n'est pas utilisée mécaniquement et se retrouve dans les gaz d'échappement et/ou un autre tiers environ de l'énergie est cédé à l'atmosphère par le système de refroidissement du moteur, il est possible grâce à l'invention de récupérer à des fins d'utilisation, une fraction particulièrement élevée d'énergie au moyen des agents accumulateurs d'hydrogène que sont les hydrures métalliques. L'alimentation à l'hydrogène des moteurs à combustion interne des véhicules offre l'avantage, en particulier dans les agglomérations, de ne produire que des gaz d'échappement non nocifs. Avec l'utilisation du système de récupération de chaleur résiduelle présenté par l'invention, les véhicules, de plus, n'émettent pas de chaleur, ce qui constitue un avantage particulièrement précieux pour la marche sur des longs parcours souterrains.

Dans ce qui suit, l'invention est décrite plus en détail à l'aide d'exemples d'exécution illustrés par des figures. Celles-ci représentent :

Fig. 1 : un poste d'échange et de chargement d'accumulateurs à hydrure métallique pour autobus, avec utilisation de l'énergie de liaison hydrogène, dans une centrale thermique.

Fig. 2 : un autobus équipé pour la récupération de la chaleur résiduelle issue d'un moteur à combustion interne.

Fig. 3 un accumulateur à hydrure métallique pour utilisation sur un autobus du type de celui représenté à la

fig. 2.

Fig. 4 : une représentation schématique d'un système de récupération de chaleur résiduelle à deux étages en usage dans une centrale thermique.

5 Fig. 5 : une vue en coupe radiale d'un échangeur thermique rotatif à régénération avec accumulateur d'hydrure métallique.

10 Fig. 6 : l'utilisation en centrale thermique à vapeur du système de récupération de chaleur résiduelle conforme à l'invention lors de la condensation et de la resurchauffe du condensat.

15 Fig. 7 : un diagramme pression/température relatif à différents alliages métalliques pouvant être utilisés pour l'accumulateur à hydrure métallique.

20 Pour illustrer l'exemple d'exécution du système de récupération de chaleur résiduelle issue des moteurs d'autobus, il y a lieu d'examiner brièvement un peu plus en détail le croquis de la fig. 2 représentant un autobus 1. Le moteur à combustion interne 20 représenté sous la forme d'un bloc parallélépipédique à l'arrière de l'autobus fonctionne avec de l'hydrogène comme carburant, hydrogène emmagasiné dans l'accumulateur à hydrure métallique 29 et qui parvient par la tuyauterie 28 et le bloc de mélange de carburant et de dosage 27, aux chambres de combustion du moteur. Le moteur à combustion interne 20 est un moteur refroidi par eau dont les tubulures d'eau de refroidissement 30 sont raccordées par les canalisations 31 non pas à un échangeur de chaleur air/eau, mais à l'accumulateur à hydrure métallique 29. Ces canalisations pénétrant à l'intérieur de l'accumulateur par les raccords rapides 32. La tuyauterie d'échappement du moteur, sur laquelle est monté un silencieux 23, est également raccordée à l'accumulateur d'hydrure métallique 29 par un manchon mobile 24 et un raccord rapide 25 ; cette tuyauterie débouche à l'air libre par un embout 26 disposé sous l'accumulateur. Grâce à ces raccordements du moteur, côté échappement et côté refroidissement, à l'accumulateur à hydrures métalliques, la totalité 35 de la chaleur résiduelle issue du moteur à combustion interne.

20 est utilisée à la libération de l'hydrogène de l'accumulateur 29. Au fur et à mesure, que l'accumulateur se décharge d'hydrogène, la quantité de chaleur résiduelle liée chimiquement et de façon réversible croît dans l'accumulateur. Il  
5 n'est pas nécessaire de prévoir une isolation thermique destinée à éviter les pertes de chaleur, car la chaleur est emmagasinée dans la substance de l'accumulateur sous forme d'énergie de liaison. Une isolation thermique n'est nécessaire que sur la portion de tuyauterie allant du moteur 20 à l'accumulateur 29, car sur cette portion, des pertes de chaleur sont possibles. En particulier, lorsque l'on utilise des hydrures  
10 à haute température qui, suivant la pression d'hydrogène, travaillent entre 200 et 500°C, il y a lieu de veiller à ce que les gaz d'échappement soient encore à la température la plus  
15 élevée possible lorsqu'ils rencontrent le matériau de l'accumulateur ou son enveloppe métallique. Une isolation thermique de l'accumulateur 29 peut donc pour cette raison être utile, mais il faut qu'elle soit installée dans l'espace réservé,  
20 sur le véhicule, au logement de l'accumulateur.

Le réservoir à hydrure métallique 29 est représenté à la figure 3 sous une forme d'exécution possible ; une des particularités de cet accumulateur est de pouvoir être chargé d'un calopore liquide ou gazeux. Dans une chambre de pression intérieure 35 construite dans un matériau empêchant les fuites d'hydrogène par diffusion, est emmagasiné un granulat 39 d'un hydrure métallique approprié ou d'un métal ou alliage métallique réversible en hydrure. Autour du réservoir à pression 35 et séparé de celui-ci par une chambre intermédiaire 37, est disposé un réservoir à pression 34. Dans la masse du granulat 39, pénètrent des nervures d'échange thermique 38 disposées sur la paroi intérieure du réservoir 35, nervure dont le rôle est d'assurer la meilleure liaison thermoconductrice possible entre la paroi intérieure du réservoir et le granulat. De la même façon, des nervures d'échange thermique 36 sont  
25 disposées sur le côté extérieur du réservoir intérieur, nervures ayant pour rôle d'assurer la meilleure transmission  
30 thermique possible entre un fluide gazeux circulant dans la  
35

chambre intermédiaire 37 et la paroi du réservoir 35.

Par la chambre intermédiaire 37 formée entre les deux réservoirs 34 et 35, transitent, lorsque le moteur est en marche, les gaz d'échappement.

5 A l'intérieur de la masse du granulat, passe un serpentin de refroidissement 40 en communication par les raccords 32 avec les circuits de refroidissement du moteur lorsque celui-ci est en marche. Le serpentin de refroidissement 40 parcourt la zone centrale de la masse du granulat,  
10 cependant que les zones périphériques de cette masse sont atteintes par l'enveloppe 35 et par les nervures montées sur celle-ci. La tubulure de gaz 33 montée sur le couvercle, débouche directement dans la masse du granulat, le cas échéant à travers un tamis de retenu. C'est par cette tubulure qu'est  
15 amené l'hydrogène lorsque le moteur est en marche.

Pour obtenir une meilleure conductibilité thermique à l'intérieur du granulat métallique, celui-ci peut subir une compression ou être aggloméré par frittage. Il est indiqué d'incorporer à l'agglomérat avant sa compression des copeaux de cuivre ou d'aluminium. Ces métaux ne se transforment pas en hydrure et conservent leur bonne propriété thermique. Leur rôle est d'assurer un flux thermique suffisant dans la masse pressée des grains d'hydrure métallique, lesquels sont mauvais conducteurs à l'état hydruré. La proportion de pores dans le granulat doit au moins atteindre de 5 à 10% pour permettre encore l'existence de canaux d'échange de gaz suffisants à l'intérieur de la masse pressée ou frittée.

L'accumulateur à hydrure métallique enfermé dans la cloison 41 et traversé par le serpentin 40 est rempli d'un hydrure métallique à basse température, par exemple un hydrure de ferro-titane, avec lequel l'accumulateur est totalement déchargeable de son hydrogène aux températures de - 20 à + 80°C (par exemple eau de refroidissement) et à une pression de 1 à 10 bar. L'accumulateur extérieur délimité par les cloisons 35 et 41 contient un hydrure métallique à haute température, par exemple, un hydrure de magnésium-nickel ; à une pression d'environ 1 bar, des températures supérieures à

300°C sont nécessaires à la continuation de la décharge de l'accumulateur. De telles températures peuvent être obtenues à partir des gaz d'échappement du moteur lorsque les tuyauteries d'échappement sont isolées thermiquement.

5 Dans les autres exécutions, on part d'un accumulateur à hydrure métallique construit et structuré comme celui de la Fig. 3, mais qui toutefois ne présente qu'une seule catégorie d'agent accumulateur pour la récupération de la chaleur résiduelle issue des gaz d'échappement.

10 La variante technologique du système de récupération de chaleur résiduelle par accumulateurs à hydrures métallique, représentée sur la Fig. 1 est prévue pour le cadre d'emploi suivant : Tous les autobus desservant une région déterminée et équipée en vue de la récupération de la chaleur résiduelle des échappements possèdent les mêmes accumulateurs 15 d'hydrure métallique, accumulateurs interchangeables, montables et démontables rapidement. Dans la région concernée, une ou des stations d'échange d'accumulateur à hydrure métallique sont installées près d'une seule ou de plusieurs centrales thermiques. Dans ces stations, les accumulateurs vides 2 sont démontés des véhicules qui arrivent et stockés, cependant que les accumulateurs 3 remplis d'hydrogène et qui avaient été maintenus en réserve sont montés sur les véhicules. Cette 20 station ou ces stations sont visitées régulièrement, par exemple chaque jour, par les autobus de la région qui y procèdent au changement de leur accumulateur.

Il y a lieu de mentionner ici, pour être complet, qu'en dehors de la technique d'échange d'accumulateurs qui vient d'être décrite, il est possible d'envisager un chargement direct de l'accumulateur sur le véhicule. Les véhicules 30 arrivent individuellement les uns après les autres à la station de distribution et d'échange thermique. L'accumulateur est alors branché de façon étanche à une tuyauterie de distribution d'hydrogène ; les surfaces d'échange calorifique de l'accumulateur sont ensuite raccordées, côté entrée et côté 35 sortie, à un circuit où transite un caloporteur de centrale thermique qui peut être par exemple de l'eau ou de la vapeur,

caloporateur qui refroidit l'accumulateur, donc le rend apte à l'absorption d'hydrogène, tout en s'échauffant lui-même. La charge à l'hydrogène de l'accumulateur étant terminée et la chaleur latente emmagasinée extraite, tous les raccordements 5 sont enlevés pour être rebranchés à l'accumulateur des véhicules suivants.

La centrale thermique prise en exemple comporte un groupe évaporatoire 10 chauffant au charbon (stock 11), une turbine à vapeur 13 et un alternateur 15 alimentant en 10 courant électrique un réseau 16. La vapeur issue de la turbine 13 se condense dans le condenseur 14 et le condensat est renvoyé au groupe évaporatoire par des pompes. Du groupe 15 évaporatoire, des tuyauteries thermiquement isolées 12 partant vers la station de charge où, dans un réservoir thermiquement isolé 7, de l'eau prérechauffée du groupe évaporatoire est stockée. De cette bâche, l'eau peut être reprise par la pompe à travers les tuyauteries de circulation 9 et un accumulateur à hydrure métallique 6 qui est à charger et qui a été raccordé au circuit.

20 Dans la station de charge, est prévu de plus, un réservoir à gaz 4 dans lequel est emmagasiné de l'hydrogène ou un gaz contenant de l'hydrogène. Une pompe 5 amène sous la pression requise l'hydrogène à l'accumulateur à hydrure métallique 6. A la mise en charge en hydrogène de l'accumulateur 6, 25 l'énergie de liaison hydrogène est libérée et le granulat métallique s'échauffe fortement. Lorsque l'on utilise un alliage magnésium-nickel pour l'accumulateur, la température atteint, pour une pression de diffusion de l'hydrogène de 1 bar, une température de diffusion de 250°C. Pour une pression de diffusion de 10 bar, la température atteinte est de 500°C. Il 30 est donc possible d'introduire une très importante chute de température par rapport à l'eau à réchauffer et de soumettre celle-ci à une action intense de réchauffage et de vaporisation.

On peut concevoir de la façon suivante l'utilisation 35 dans les autobus urbains d'hydrures à haute température comme  $Mg H_2$  ou  $Mg_2NiH_4$  : Les énergies de liaison hydrogène des hy-

drures précités se situant dans l'ordre de grandeur de la chaleur résiduelle issue des gaz d'échappement, il faut, pour libérer 18 kg d'hydrogène (correspondant à peu près à 60 litres de carburant Diesel), 180 Megacalories, ce qui correspond au pouvoir calorifique d'environ 20 litres de carburant Diesel. Cette quantité de chaleur est contenue à elle seule dans les gaz d'échappement du moteur à hydrogène 20 de l'autobus 1. L'eau de refroidissement renferme également à peu près la même quantité de chaleur.

Les estimations exposées ci-dessous et concernant l'énergie ne se basent que sur l'utilisation de la chaleur résiduelle contenue dans les gaz d'échappement. Durant la charge, les 180 Megacalories par véhicule dont il vient d'être question sont à nouveau libérées, et ceci à une température pouvant varier de 200 à 400°C suivant la pression de charge de l'hydrogène. Prenons l'exemple d'un parc d'autobus d'environ 300 véhicules, parc correspondant approximativement à une grande ville de 600.000 habitants. Supposons que chaque autobus parcourt quotidiennement 200 km, ce qui correspond à une consommation de 60 l de carburant Diesel. Les accumulations à hydrure métallique à remplir d'un tel parc fournissent quotidiennement une quantité d'énergie de 54 Gigacalories pouvant être utilisées directement selon la technique indiquée. Dans le cas pris en exemple d'un parc de 300 autobus urbains, la quantité d'énergie annuellement récupérée équivaut au pouvoir calorifique de plus de 2.000 m<sup>3</sup> de carburant Diesel. En dehors même des possibilités d'économie d'énergie qu'il offre, le système de récupération de chaleur résiduelle décrit présente l'avantage d'un système accumulateur de chaleur auquel il peut être fait appel pour couvrir les besoins lors des pointes de consommation auxquelles doit faire face la centrale thermique. L'utilisation de l'hydrogène comme carburant dans les moteurs à combustion interne présente l'avantage de n'engendrer que des gaz d'échappement non nocifs. Si, de plus, comme il a été décrit, la chaleur résiduelle issue des moteurs est emmagasinée et utilisée, il devient possible de supprimer sur les véhicules toute émission nuisible, émission de chaleur in-

cluse (laquelle constitue, en particulier, une nuisance importante lors des longs parcours en voies souterraines).

Sur les Figs. 4 et 5, est représenté un exemple d'exécution du système de récupération de chaleur, exemple s'appliquant au cas d'une centrale thermique. Le groupe évaporatoire de cette centrale comporte une chaudière 50 à tube-foyer 51 et à grille 52. Par le dispositif d'aménage de combustible 53, le tube-foyer est alimenté en combustibles liquides (réservoir à huile combustible 62), solides (stock de charbon 63) ou gazeux. L'air de combustion est amené au groupe évaporatoire par la soufflerie 57 et la tuyauterie 56. La chambre d'eau 58 entourant le tube-foyer est réchauffée par la chaleur de combustion. Par la tuyauterie de retour d'eau 60, de l'eau refroidie en provenance d'un système de chauffage fait retour à la chambre à eau et, par le départ de chaudière 61, de l'eau réchauffée est renvoyée au système de chauffage.

Par le collecteur des fumées 54 doté d'une isolation thermique 55, les gaz issus de la combustion quittent la chaudière ; ces gaz contiennent une très grosse quantité d'énergie thermique qui doit être récupérée. A cet effet, un système de tubes en serpentin est disposé dans la partie thermiquement isolée du collecteur des fumées. Dans ces tubes, circule un fluide caloporeur, par exemple une huile à haut point d'ébullition. De l'énergie thermique est ainsi extraite des fumées dans un premier stade et la température de celles-ci se trouve ramenée à 80 ou 100°C. Les fumées traversent ensuite un second étage de refroidissement qui abaisse leur température au niveau de la température ambiante ou même au-dessous avant qu'elles ne soient évacuées à l'air libre par la cheminée 85.

Pour rendre utilisable la chaleur extraite des fumées, sont prévus deux accumulateurs à hydrure métallique 66 et 65 dont l'un est représenté en coupe à la fig. 5. Sur ces échangeurs de chaleur rotatif à régénération, plusieurs accumulateurs à hydrure métallique individuellement logés dans des enveloppes empêchant la diffusion de l'hydrogène sont prévus. Ces accumulateurs sont disposés concentriquement les uns contre les autres pour former l'ensemble le plus dense possible. Les

échangeurs de chaleur à régénération ayant une telle structure radiale peuvent pivoter autour de l'axe 68 lorsqu'ils sont entraînés, à partir du moteur 72, par un système de transmission comportant l'arbre 71, le pignon 70 et une couronne dentée 60 disposée sur leur périphérie. A l'intérieur des différents accumulateurs à hydrure métallique sont prévus des tubes d'échange thermique 94 axialement parallèles, tubes traversés par le fluide chauffé ou par le fluide chauffant. Les intervalles entre les tubes sont remplis d'un granulat d'hydrure métallique 95. Sur la face intérieure périphérique des accumulateurs à hydrure métallique, sont prévues des plaques perforées 96 à travers lesquels des éléments à la fois distributeurs et collecteurs de gaz 98 font pénétrer sous pression dans les pores du granulat de l'hydrogène ou au contraire, en retirent par une tête de distribution de gaz formée d'une partie tournante 99a et d'une partie fixe 99b et qui est centrée sur l'axe de rotation 68, ceux des accumulateurs à hydrure métallique qui viennent d'être mis en contact avec le fluide chauffant sont raccordés à une tuyauterie d'évacuation de gaz 80 ou 79, cependant, que l'accumulateur occupant la position diamétrale opposée est raccordé à une tuyauterie d'alimentation en gaz 78 ou 80.

L'échangeur de chaleur à régénération 69 représenté sur la fig. 4 est un échangeur de chaleur conçu pour les hautes températures ; il est donc rempli d'un hydrure métallique haute température, par exemple d'un hydrure magnésium-nickel. L'échangeur de chaleur occupant la position supérieure est rempli d'un hydrure métallique basse température, par exemple d'un hydrure de ferro-titane. Le diagramme pression-température de ces deux alliages est représenté à la fig. 7. L'accumulateur à hydrure métallique disposé côté absorption de chaleur dans l'échangeur thermique haute température 66 est raccordé à la tubulure d'évacuation de gaz 81, laquelle débouche dans le réservoir à gaz 83, qui est maintenu sous une pression déterminée. De même, l'accumulateur de l'échangeur supérieur se trouvant exactement côté absorption de chaleur est raccordé côté gaz, par la tuyauterie d'évacuation

de gaz 79, à un réservoir à gaz, ici le réservoir 82, réglé sur une autre pression déterminée. Sur le côté "apport de chaleur" de l'échangeur thermique à régénération occupant la position supérieure, les accumulateurs sont traversés par  
5 l'air de combustion aspiré par la hotte 84 ; cet air de combustion est alors réchauffé et est envoyé à la soufflante 57 par le collecteur d'air frais 86 et une tuyauterie de liaison. Côté gaz, les accumulateurs cédant de la chaleur, et qui sont absorbeurs d'hydrogène, sont raccordés par la tuyauterie d'alimentation en gaz 78 à un premier réservoir à pression 75, réservoir qui est rempli par la pompe 74 à partir de la réserve d'hydrogène 64 et dont la pression est maintenue à un niveau constant déterminé. Les accumulateurs cédeurs de chaleur de l'autre échangeur à régénération 66 conçu pour un niveau élevé de température sont raccordés également côté gaz, par la tuyauterie d'alimentation en gaz 80, à un réservoir à pression, ici au second réservoir à pression 77 dont la pression est maintenue à un niveau élevé par la pompe 76. Pour absorber la chaleur cédée par ces accumulateurs à hydrure métallique, ceux-ci sont successivement raccordés côté absorption de chaleur à des collecteurs fixes ou à des têtes de distribution du fluide caloporteur de l'échangeur qui peut être une huile à haut point d'ébullition ou la vapeur saturée. Côté cédeur de chaleur, les accumulateurs à hydrure métallique sont cycliquement, les uns après les autres raccordés aux collecteurs fixes correspondants ou aux têtes de distribution de fluide caloporteur d'un second circuit. A ce second circuit appartient un surchauffeur 59 monté sur le départ de chaudière 61. Le caloporteur réchauffé dans l'accumulateur cédeur de chaleur, qui peut être de la vapeur saturée sous haute pression, parcourt ce circuit et cède sa chaleur, sans le surchauffeur 59, à l'eau d'utilisation de la chaudière. Du fait du "refroidissement" qui en résulte de l'accumulateur cédeur de chaleur, celui-ci devient absorbeur pour l'hydrogène qui lui est amené par les tuyauteries 80 ou (pour ce qui concerne l'échangeur supérieur 65) par les tuyauteries 78.

Le fonctionnement du dispositif décrit est, brièvement

exposé, celui-ci :

Par un réglage approprié de la pression régnant dans le réservoir 83, une température déterminée, par exemple de 170°C est établie dans l'accumulateur absorbeur de chaleur 5 de l'échangeur à régénération pour hautes températures 66. Il est ainsi possible de refroidir jusqu'à environ 200 ou 240°C les gaz chauds par l'intermédiaire des serpentins et de leur soutirer une quantité de chaleur correspondante.

L'hydrogène se trouvant de ce fait libéré des accumulateurs à hydrure métallique est alors emmagasiné sous pression dans 10 le réservoir 83 et, la pression montant, soit transféré sous pression au réservoir 64, soit brûlé dans la chaudière 50. La chaleur latente emmagasinée dans l'hydrure métallique est à nouveau libérée par l'arrivée de l'hydrogène, le niveau de 15 température dans l'accumulateur concerné pouvant alors être fixé et, surtout, amené à un niveau notablement supérieur à celui de la température régnant côté absorption de chaleur par un choix approprié de la pression de diffusion de l'hydrogène, pression prédéterminée par celle qui règne dans les 20 réservoirs 77 et 75. On obtient ainsi facilement une chute de température motrice très élevée et la possibilité de transmettre une importante quantité d'énergie thermique.

Après un refroidissement des fumées à environ 180 ou 220°C dans un premier stade et la récupération à des fins utilitaires de la chaleur soutirée jusqu'à ce stade, les fumées traversent en un second temps, directement d'elles-mêmes, 25 les tubes des accumulateurs conçus pour le bas niveau de température correspondant ; elles sont alors ramenées à la température ambiante ou à une température inférieure, voisine par exemple de 0°C. Lorsque l'on règle sur 1 bar la pression de diffusion de l'hydrogène côté absorption de chaleur ou côté émission d'hydrogène, il se produit, sans apport de chaleur, 30 des températures de - 20°C dans le granulat d'hydrure métallique. Cette possibilité d'instauration de températures si basses dans l'accumulateur absorbeur de chaleur permet d'obtenir une chute de température très forte, donc de refroidir considérablement les fumées et partant, d'augmenter la quantité d'éner-

gie thermique utilisable pouvant être soutirée. Du côté émission de chaleur ou absorption d'hydrogène de l'échangeur de chaleur à régénération 65, qui est conçu pour les basses températures, on peut obtenir par un réglage approprié 5 de la pression de diffusion de l'hydrogène une température de l'ordre de 50 à 60°C, laquelle permet un bon préréchauffage de l'air de combustion.

Sur l'exemple de système de récupération de chaleur résiduelle présenté à la Fig. 6, il s'agit d'un autre genre 10 de chaleur résiduelle, à savoir la chaleur de condensation issue d'une centrale à vapeur. On supposera qu'il s'agit d'une centrale nucléaire dont la pile 100 constitue la source thermique servant à la production de la vapeur. La chaleur dégagée dans la pile est transmise dans un échangeur thermique 101 par 15 un fluide de circulation, au fluide de travail du circuit vapeur, donc à la vapeur à haute pression. L'énergie contenue dans la vapeur est transformée dans la turbine 102 en énergie mécanique, laquelle est à son tour transformée dans le régénérateur 103 en énergie électrique alimentant le réseau 104. La vapeur se détendant hors de la turbine doit être 20 condensée pour réduire le volume du fluide de travail. Le condensat peut ensuite être repris côté H P du circuit par la pompe d'alimentation de chaudière 108 pour simplifier la technologie. Pour la condensation, la chaleur de condensation 25 doit être extraite du fluide de travail. À cet effet, est prévu un groupe 105 d'échangeurs thermiques à régénération 106 et 107. L'accumulateur à hydrure métallique absorbeur de chaleur et émetteur d'hydrogène traversé par la vapeur détendue est raccordé côté gaz, à la tubulure d'aspiration 30 d'une pompe 19 et, de ce fait, soumis à une pression relativement basse, ce qui fait que les parois absorbant la chaleur de l'accumulateur à hydrure métallique sont très froides et permettent une récupération de chaleur importante. Ceci 35 permet également de recon denser la vapeur moins fortement détendue, donc de supprimer les très volumineux étages de vapeur saturée de la turbine 102. En raison de la récupération à des fins utilitaires de la chaleur de condensation, le proces-

sus de détente peut être interrompu plus tôt sans risque de pertes d'énergie. Le fluide de travail condensé dans l'accumulateur absorbeur de chaleur est utilisé par la pompe d'alimentation de chaudière 108 à la température de service de la chaudière et, en tant qu'absorbeur de chaleur, pompé à travers l'accumulateur émetteur de chaleur et absorbeur d'hydrogène 107. La pompe de transfert de gaz 109 qui, par son côté H P, est raccordée côté gaz à l'accumulateur alors en état d'absorption d'hydrogène y établit une pression de diffusion d'hydrogène relativement élevée et, par conséquent, une température de granulat dépassant de beaucoup la température du condensat, de sorte que celui-ci peut être vaporisé au moins jusqu'à la vapeur saturée.

L'avantage d'un tel dispositif est qu'une centrale thermique peut de cette façon fonctionner sans émission de chaleur. On sait qu'avec les grosses centrales équipées de piles nucléaires, l'émission de chaleur prend dans les environs de chaque centrale des proportions dangereuses, le micro-climat de l'environnement étant modifié et les cours d'eau, même de grande importance, se trouvant réchauffés au-delà des limites qu'impose la protection biologique. Ces nuisances peuvent être évitées avec le système de récupération de chaleur résiduelle proposée par l'invention.

Etant donné les hautes pressions auxquelles est soumis le fluide de circulation absorbeur de chaleur, il peut être utile, au lieu de monter un ensemble rotatif d'échangeurs de chaleur à régénération, de disposer les différents échangeurs sur des positions fixes et de modifier cycliquement leurs communications côté circuit et côté hydrogène par des sélecteurs de circuit ou par des organes remplissant une fonction similaire. On peut ainsi envisager de provoquer l'échange de chaleur par un circuit intermédiaire parcouru par un fluide caloporteur pouvant être par exemple de l'eau d'un côté et la vapeur saturée de l'autre.

REVENDICATIONS

1. - Procédé de récupération au moins partielle de la chaleur résiduelle issue de cycles thermodynamiques, caractérisé par le fait que lors de la combustion, est utilisée une partie au moins de l'hydrogène emmagasiné sous forme d'hydrure métallique dans un accumulateur en métal et libéré de cet accumulateur par un apport d'énergie thermique, par le fait que pour provoquer la libération de l'hydrogène, de la chaleur résiduelle issue de la combustion est amenée à l'hydrure métallique, et par le fait que l'accumulateur métallique libéré d'au moins la plus grande partie de son oxygène est utilisé comme accumulateur d'énergie thermique liée de façon latente, accumulateur dont est utilisée l'énergie libérée par apport d'hydrogène à l'hydrure métallique lors de la charge de l'accumulateur.

15 2 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que sont choisis comme agents accumulateurs d'hydrogène et de chaleur des métaux ou alliages métalliques pour lesquels l'énergie de libération de l'hydrogène se situe à quelques % au-dessous de l'énergie de la chaleur de combustion et au moins au-dessous de l'énergie de la chaleur résiduelle à laquelle il est fait appel pour libérer l'hydrogène.

25 3 - Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé par le fait que pour utiliser l'énergie de liaison libérée lors de la charge de l'accumulateur, un caloporateur est mis au moins indirectement en liaison thermoconductrice avec l'accumulateur durant la charge.

30 4 - Procédé selon l'une des revendications de 1 à 3, caractérisé par le fait que de l'eau d'un système de chauffage central transite par l'accumulateur.

35 5 - Procédé selon l'une des revendications de 1 à 3, caractérisé par le fait que de l'eau d'alimentation, de la vapeur saturée ou de la vapeur surchauffée en provenance d'une centrale thermique transite par l'accumulateur.

6 - Procédé selon l'une des revendications de 1 à 5,

caractérisé par le fait qu'à côté ou en remplacement de la chaleur résiduelle directement issue des cycles thermodynamiques, il est fait appel à d'autres sources de chaleur, en particulier à la chaleur de l'air d'évacuation de locaux, à la chaleur de l'air ambiant ou à l'énergie solaire pour fournir l'énergie de libération de l'hydrogène.

5           7 - Procédé selon l'une des revendications de 1 à 6, caractérisé par le fait que la chaleur résiduelle issue de moteurs à combustion interne, en particulier de moteurs à combustion interne de véhicules, est récupérée, et que les accumulateurs associés à ces moteurs ont, durant la charge, leurs surfaces cédant la chaleur raccordées au moins indirectement au circuit parcouru par un caloporeur d'une installation thermique fixe ou d'un système de chauffage central.

10           8 - Procédé selon l'une des revendications de 1 à 6, caractérisé par le fait que la chaleur résiduelle issue d'une chaudière de chauffage fixe est récupérée, les fumées de cette chaudière étant au moins indirectement mises en liaison thermoconductrice avec un premier accumulateur en état de restituer de l'hydrogène ou avec un premier groupe d'accumulateurs présentant cette caractéristique, et l'hydrogène libéré de ce ou de ces accumulateurs étant utilisé à l'alimentation ou au renforcement de la combustion, par le fait que simultanément, un autre accumulateur, en état d'absorption d'hydrogène ou un autre groupe d'accumulation présentant cette caractéristique, auquel de l'hydrogène est amené pour mise en charge et formation d'hydrogène métallique, est mis au moins indirectement en liaison thermoconductrice avec un caloporeur fluide absorbant la chaleur, et par le fait que le premier accumulateur et le second (ou chacun des accumulateurs du premier groupe et chacun des accumulateurs du second groupe) sont échangés cycliquement.

15           9 - Procédé selon la revendication 8, caractérisé par le fait que le fluide absorbeur de chaleur est l'air de combustion de la chaudière de chauffage.

20           10 - Procédé selon la revendication 8, caractérisé

par le fait que le fluide absorbeur de chaleur est un fluide de recyclage traité par la chaudière et se trouvant dans un état physique approprié.

11 - Procédé de récupération de la chaleur résiduelle issue d'un cycle à vapeur de centrale thermique, cycle comportant la production de la vapeur, sa détente génératrice d'énergie et, cette énergie étant fourni, sa condensation, le condensat étant finalement repris par des pompes et renvoyé à la chaudière du circuit pour y être vaporisé, en particulier selon l'une des revendications de 1 à 6, caractérisé par le fait que la vapeur à condenser, au moins partiellement détendue, est mise en liaison thermoconductrice au moins indirectement avec un premier accumulateur, qui est en état de restitution d'hydrogène, ou avec un premier groupe 15 d'accumulateurs présentant cette caractéristique et que l'hydrogène en est libéré, par le fait que simultanément, un autre accumulateur, en état d'absorption d'hydrogène, ou un autre groupe d'accumulateurs présentant cette caractéristique, auquel de l'hydrogène est amené pour mise en charge et formation 20 d'hydrure métallique, est mis au moins indirectement en liaison thermoconductrice avec du condensat ou de la vapeur, et par le fait que le premier accumulateur et le second (ou chacun des accumulateurs du premier groupe et chacun de ceux du second) sont échangés cycliquement.

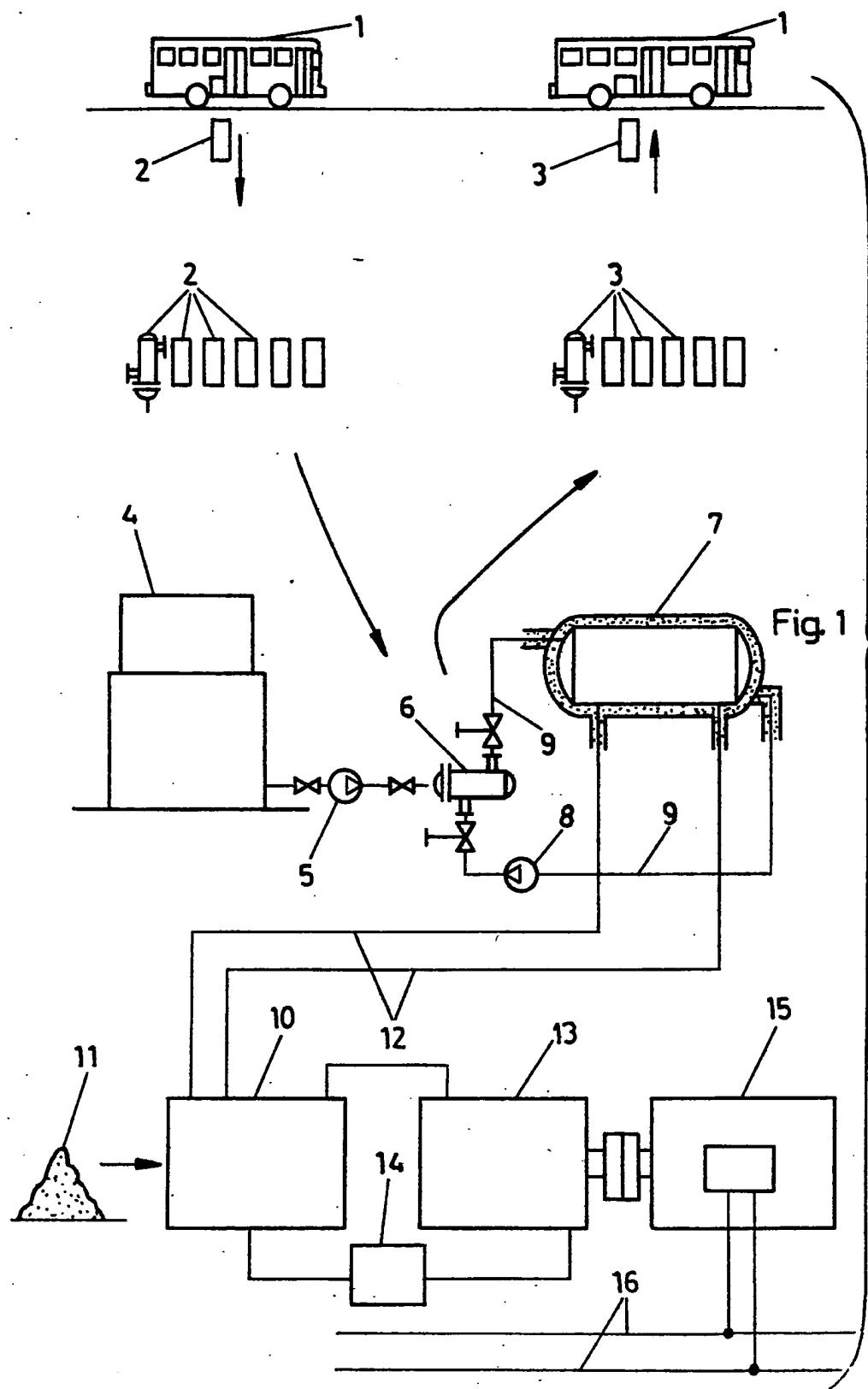
25 12 - Procédé selon l'une des revendications de 1 à 11, caractérisé par le fait que la pression d'hydrogène régnant dans les accumulateurs à hydrure métallique en état d'absorption d'hydrure est plus élevée que celle régnant dans les accumulateurs en état de restitution d'hydrogène.

30 13 - Dispositif ou système d'échange thermique de régénération avec échange cyclique entre éléments absorbant la chaleur dans un flux qui en cède et d'éléments restituant la chaleur dans un flux qui en吸orbe, en particulier pour la mise en oeuvre du procédé objet des revendications de 1 à 12, caractérisé par le fait que ces éléments sont constitués 35 en accumulateurs à hydrure métallique.

14 - Dispositif ou système conforme à la revendication

13, caractérisé par le fait qu'est prévu un certain nombre d'accumulateurs à hydrure métallique distinct enfermés dans une enveloppe protectrice en matériau ne permettant pas la diffusion de l'hydrogène, accumulateurs comportant des surfaces de contact thermique pour les flux absorbant ou restituant de la chaleur et dont l'enveloppe protectrice est équipée d'un raccord pour l'introduction du gaz.

5           15 - Dispositif ou système selon la revendication  
14, caractérisé par le fait qu'est prévu un équipement per-  
10         mettant de créer une pression d'hydrogène plus élevée dans  
le ou les accumulateurs à hydrure métallique absorbant l'hy-  
drogène que dans les accumulateurs cédant l'hydrogène.



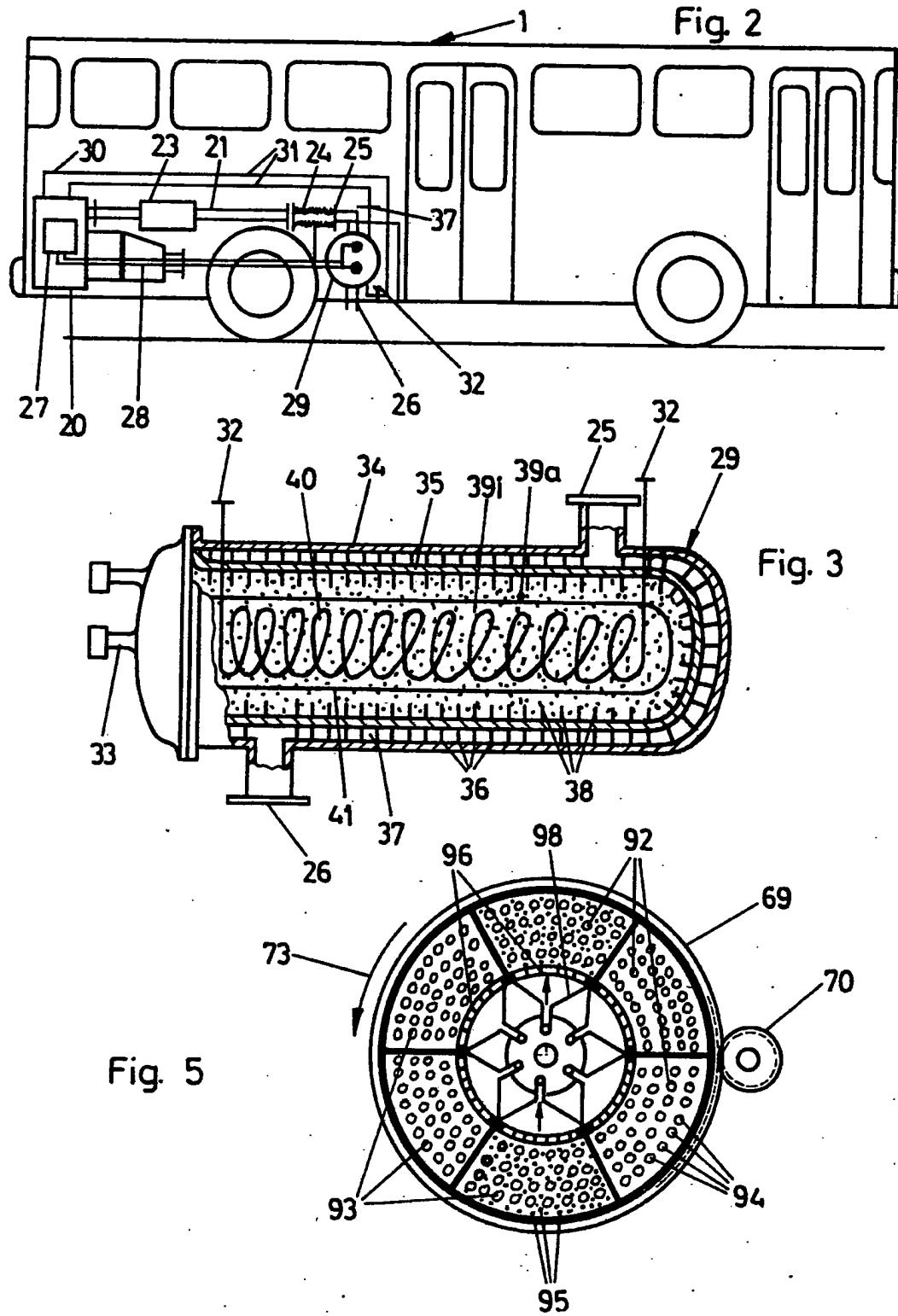


Fig. 4

